

(43) Date of publication of application: **18.02.00**

**H02P 7/63**  
**B60L 9/18**

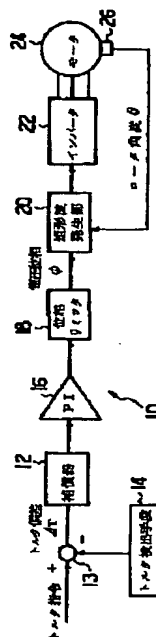
(22) Date of filing: **24.07.98**

(72) Inventor: **SATO EIJI**  
**INAGUMA YUKIO**  
**OTANI HIROKI**

(57) Abstract:

**SOLUTION:** A torque detecting means 14 is constituted by using a torque sensor or the like, and torque feedback control is performed. A voltage phase  $\psi$  is set so as to reduce a torque deviation  $\Delta T$ , and the range of  $\psi$  is restricted in a specified phase range. As a result, actual output torque can be made to approach a torque command value, without breaking control.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



Cited in background of the invention

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-50689

(P2000-50689A)

(43)公開日 平成12年2月18日(2000.2.18)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード*(参考)
H 0 2 P 7/63	3 0 3	H 0 2 P 7/63	3 0 3 V 5 H 1 1 5
B 6 0 L 9/18		B 6 0 L 9/18	A 5 H 5 7 6

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平10-209849

(22)出願日 平成10年7月24日(1998.7.24)

(71)出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(71)出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地  
地の1

(72)発明者 佐藤 栄次

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(74)代理人 100075258

弁理士 吉田 研二 (外2名)

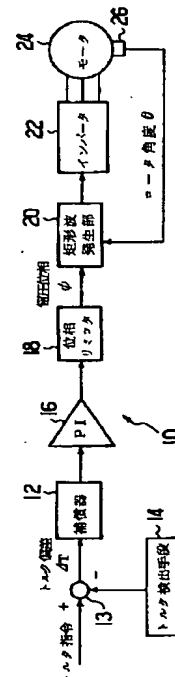
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 交流電動機の駆動制御装置

(57)【要約】

【課題】 交流電動機の駆動制御においてトルク指令値と実際の出力トルクとの差を小さくする。

【解決手段】 トルクセンサ等でトルク検出手段14を構成し、トルクフィードバック制御を行う。この際、トルク偏差 $\Delta T$ を小さくするよう電圧位相 $\phi$ を設定するが、その範囲を所定の位相範囲に制限する。こうすれば、制御を破綻させることなく、実出力トルクをトルク指令値に近づけることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 交流電動機に矩形波電圧を印加して回転駆動する駆動制御装置において、  
前記交流電動機の出力トルク値を検出するトルク検出手段と、  
検出したトルク値と所与のトルク指令値との差を表すトルク偏差を生成する手段と、  
該トルク偏差を無くすよう前記矩形波電圧の位相を設定する位相設定手段と、  
を含むことを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

【請求項2】 請求項1に記載の交流電動機の駆動制御装置において、  
前記位相設定手段は、所定位相範囲内に前記矩形波電圧の位相を設定することを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

【請求項3】 交流電動機に交流電圧を印加して回転駆動する駆動制御装置において、  
前記交流電動機の出力トルク値を検出するトルク検出手段と、  
検出したトルク値と所与のトルク指令値との差を表すトルク偏差を生成する手段と、  
該トルク偏差を無くすよう前記交流電圧の位相を設定する位相設定手段と、  
を含むことを特徴とする交流電動機の駆動制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は交流電動機の駆動制御装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 交流電動機を直流電源を用いて駆動する際にはインバータを用い、パルス幅変調(PWM)波形電圧を印加することが広く行われている。しかしながら、PWM波形電圧を交流電動機に加えるのでは電圧利用率に限界がある。したがって、例えば高回転域で十分

$$V_d = R * I_d - \omega * L_q * I_q \quad (1)$$

$$V_q = R * I_q + \omega * L_d * I_d + \omega * \Phi \quad (2)$$

ここで、 $V_d$ 、 $V_q$ は夫々d軸及びq軸の電圧値である。また、 $I_d$ 、 $I_q$ はそれぞれd軸及びq軸の電流値である。さらに、 $L_d$ 、 $L_q$ はd軸及びq軸のインダクタンスであり、 $\omega$ はモータ108の角速度である。また、 $\Phi$ は磁束鎖交数である。

$$V_d = -|V| * \sin \psi \quad (3)$$

$$V_q = |V| * \cos \psi \quad (4)$$

以下では、説明の簡単のためモータ108が非突極モータ( $L_d = L_q = L$ )であると仮定する。しかしながら、原理的には突極モータも同様にして適用可能である。

$$T = p * \Phi * I_q + p * (L_d - L_q) * I_d * I_q \quad (5)$$

ここで、 $T$ はトルクを表し、 $p$ は極対数を表す。上式において、右辺第1項は永久磁石によるトルクを表し、右

な高出力を得ることができないという問題がある。

【0003】この点、矩形波電圧を交流電動機に印加し、該交流電動機を回転駆動する技術がある。かかる技術によれば、高回転域の出力を向上させることができるとともに、その際に弱め界磁電流を多く流す必要がなくなり、銅損を低減させることができる。また、インバータでのスイッチング回数を減少させることができるため、スイッチング損失を抑えることができる。

【0004】こうした矩形波電圧を交流電動機に印加する制御技術は、例えば平成9年度のJ E V A 電気自動車フォーラムにて「表面磁石構造PMモータを用いた駆動システムの高性能制御方式」と題して開示されている。図6は、同技術を採用するモータ駆動制御システムの一例を示す図である。

【0005】同図においては、永久磁石同期型交流電動機であるモータ108にはインバータ106が接続されている。インバータ106には矩形波発生部104が接続されており、該矩形波発生部104では位相計算部102から供給される電圧位相 $\psi$ とモータ108に隣接して設けられたレゾルバ110からの出力であるロータ角度 $\theta$ とに基づき、電圧位相 $\psi$ を有する矩形波電圧がモータ108に印加されるようインバータ106をスイッチング制御する。

【0006】位相計算部102は図示しない電子制御装置(ECU)にて生成されたトルク指令値 $T$ が入力されるようになっており、またインバータ106に接続されている図示しないバッテリーの電圧 $V_{dc}$ も入力されている。位相計算部102ではこれら入力値を用いてトルク指令値 $T$ に応じた電圧位相 $\psi$ を演算出力する。

【0007】すなわち、同システムの定常状態での電圧方程式は次式のように表せる。

## 【0008】

## 【数1】

【0009】ここで、 $V_d$ 、 $V_q$ を電圧ベクトルの大きさ $|V|$ とq軸を基準とした位相 $\psi$ を用いて表すと、次式ようになる。

## 【0010】

## 【数2】

【0011】まず、モータ108のトルクは次式のように表すことができる。

## 【0012】

## 【数3】

辺第2項はリラクタンストルクを表す。しかしながら、ここでは非突極モータについて説明するため第2項は0

である。

【0013】以上の式からトルクと電圧ベクトルとの関係式を導くと次式のようになる。

$$T = p * \Phi * |V| * \sin \psi / (\omega * L) \quad (6)$$

ここで、電圧ベクトルの大きさ $|V|$ はバッテリー電圧 $V_{dc}$ を用いて次のように表すことができる。

$$|V| = (\sqrt{6} / \pi) * V_{dc} \quad (7)$$

すなわち、図6に示す位相計算部102は、上記(6)(7)式を用いて、バッテリー電圧 $V_{dc}$ とトルク指令値 $T$ に基づき、電圧位相 $\psi$ を算出することができる。

【0016】以上のようにして、図6に示す従来のモータ駆動システムによれば、モータ108を所望のトルクにて駆動している。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、バッテリー電圧 $V_{dc}$ はモータ108による電力消費とともに低下するものであり、また、インダクタンス $L$ についても高負荷時の磁気飽和により低下する。さらに、磁束鎖交数 $\Phi$ は磁石温度変化により変化する。したがって、上記(6)式を位相計算部102が計算したとしても、要求通りのトルクをモータ108から出力させることは困難である。

【0018】なお、以上説明した事情は、矩形波電圧を用いた交流電動機の駆動制御に限らず、電圧振幅可変のPWM正弦波電圧を用いた交流電動機の駆動制御にも、同様に妥当する。

【0019】本発明は上記課題に鑑みてなされたものであって、その目的は、交流電動機の駆動に際してトルク指令値と実出力トルクとの誤差を少なくすることのできる駆動制御装置を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、交流電動機に矩形波電圧によって回転駆動する駆動制御装置において、前記交流電動機の出力トルク値を検出するトルク検出手段と、検出したトルク値と所与のトルク指令値との差を表すトルク偏差を生成する手段と、該トルク偏差を無くすよう前記矩形波電圧の位相を設定する位相設定手段と、を含むことを特徴とする。

【0021】また、本発明は、交流電動機に交流電圧を印加して回転駆動する駆動制御装置において、前記交流電動機の出力トルク値を検出するトルク検出手段と、検

$$T = P_{in} / \omega$$

$$= (i_u \times v_u + i_v \times v_v + i_w \times v_w) / \omega \quad (8)$$

ここで、 $P_{in}$ はモータ24に供給される電力を表す。また $\omega$ はモータ24の角速度を表す。さらに、 $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$ はモータ24に供給される三相交流電流の各相の値を表し、 $v_u$ 、 $v_v$ 、 $v_w$ は各相の電圧を表す。

【0027】なお、 $v_u$ 、 $v_v$ 、 $v_w$ はインバータ22に設定される電圧指令値を用いてもよいし、インバータ

【0014】

【数4】

【0015】

【数5】

出したトルク値と所与のトルク指令値との差を表すトルク偏差を生成する手段と、該トルク偏差を無くすよう前記交流電圧の位相を設定する位相設定手段と、を含むことを特徴とする。

【0022】すなわち、本発明では、従来技術に係る電圧位相制御とは異なり、交流電動機の出力トルク値をフィードバックさせ、トルク偏差がなくなるよう矩形波電圧や交流電圧の位相を設定している。こうすれば、トルク指令値に応じたトルクを出力できるよう、モータ定数に基づいて電圧位相を算出する従来方法に比し、モータ定数の変動による影響を受けることなく、実出力トルクとトルク指令値とを近づけることができる。

【0023】また、本発明の一態様では、前記位相設定手段は、所定位相範囲内に前記矩形波電圧の位相を設定することを特徴とする。交流電動機の電圧位相—トルク曲線には極値があり、例えば非突極型の交流電動機は電圧位相が $\pm 90^\circ$ の点に電圧位相—トルク曲線の極値がある。このため、前記位相設定手段が設定する位相を無制限に行くと、トルクフィードバック制御が破綻してしまう。本態様によれば、前記位相設定手段が設定する位相を所定位相範囲内に制限しているため、制御破綻を防止することができる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態について図面に基づき詳細に説明する。

【0025】図1は、本発明の実施の形態にかかる交流電動機の駆動制御装置の全体構成を示す図である。同図において、加算器13には図示しない電子制御装置(ECU)で生成されたトルク指令値が入力されており、一方、該加算器13にはトルク検出手段14から出力されるトルク値もまた入力されている。このトルク検出手段14はトルクセンサを用いて構成することも可能であるが、その他、次式に基づいて算出することもできる。

【0026】

【数6】

22からモータ24に供給される実際の値をセンサにより検出して用いてもよい。

【0028】或いは、トルク検出手段14は次式に示すように、直流電流と直流電圧から演算することもできる。

【0029】

## 【数7】

$$T = P_{in} / \omega$$

$$= (I_B \times V_B) / \omega \quad (9)$$

ここで  $I_B$ 、 $V_B$  はインバータ22に接続された図示しないバッテリーの直流電流及び直流電圧を表している。

【0030】加算器13ではECUから供給されるトルク指令値からトルク検出手段14から供給されるトルク値を減算してトルク偏差 $\Delta T$ を生成する。そして、このトルク偏差 $\Delta T$ は補償器12に供給される。補償器12ではトルク偏差 $\Delta T$ に基づいて補償後のトルク偏差 $\Delta T'$

$$dT'/d\psi = p * \Phi * (\sqrt{6}/\pi) * V_{dc} * \cos \psi / (\omega * L) \quad (10)$$

同(10)式から分かるように、電圧位相-トルク曲線の傾きは、バッテリー電圧 $V_{dc}$ と $\cos \psi$ に比例し、モータ24の角速度 $\omega$ に反比例する。図2は電圧位相-トルク曲線がバッテリー電圧 $V_{dc}$ の変化によってどのような変化を受けるかを表している。同図に示すように、バッテリー電圧 $V_{dc}$ が高くなると、電圧位相 $\psi$ が小さくて

$$\Delta T' = \omega / (V_{dc} * \cos \psi) * \Delta T \quad (11)$$

こうすれば(10)式は次式(12)のようになり、トルク偏差 $\Delta T'$ と電圧位相差 $\Delta \psi$ とを比例関係を有するようになる。この結果、良好な制御特性を得ることが

$$dT' / d\psi = p * \Phi * (\sqrt{6}/\pi) / L \quad (12)$$

補償器12で生成されたトルク偏差 $\Delta T'$ はPI演算器16に供給され、ここでトルク偏差 $\Delta T'$ を0とするよう電圧位相 $\psi$ が出力される。この電圧位相 $\psi$ は次に位相リミッタ18に入力される。位相リミッタ18はPI演算器16から供給される電圧位相 $\psi$ の値を $-90^\circ \sim +90^\circ$ の範囲に制限するための手段である。たとえば、PI演算器16から出力される電圧位相 $\psi$ が $90^\circ$ を超えている場合にはその値をクリッピングして $90^\circ$ に補正した後、その値を後段の矩形波発生部20に供給する。

【0035】図3は、電圧位相 $\psi$ とモータ24のトルクとの関係を表す図である。同図に示すように、電圧位相 $\psi$ が $-90^\circ \sim +90^\circ$ の範囲にある場合には電圧位相 $\psi$ が増加するにつれてトルク $T$ も増加するが、その範囲を超えると、電圧位相 $\psi$ が増加するにつれてトルク $T$ は減少する。したがって、位相リミッタ18ではPI演算器16から出力される電圧位相 $\psi$ を矢印28に示す位相制御範囲内に制限している。このため、図4に示すように、電圧ベクトルの終点は $dq$ 平面にて軌跡30にのみ位置するよう制限される。こうすれば、トルクフィードバックを行う駆動制御装置10において制御が破綻することを効果的に防止することができる。

【0036】そして、矩形波発生部20では位相リミッタ18から出力された電圧位相 $\psi$ とレゾルバ26から供給されるロータ角度 $\theta$ に基づき矩形波電圧を発生させるためのスイッチング信号をインバータ22に供給する。こうして、モータ24を電圧位相 $\psi$ を有する矩形波電圧

$T'$ を生成する。

【0031】すなわち、上記(6)式の両辺を電圧位相 $\psi$ で微分し、さらに(7)式を用いて電圧振幅 $|V|$ を消去すると次式(10)が得られる。

【0032】

【数8】

も大きなトルク $T$ を発揮できるようになる。そこで、補償器12では次式(11)に従ってトルク偏差 $\Delta T$ を用いて補償済みのトルク偏差 $\Delta T'$ を生成している。

【0033】

【数9】

できる。

【0034】

【数10】

にて駆動することができる。

【0037】図5は、モータ24に供給される矩形波電圧を表す図である。同図には、モータ24に印加される三相交流電圧のうち、U相にかかる電圧波形が一例として表されている。モータ24の巻線はスター結線されており、矩形波において最大値と最小値との差がバッテリー電圧 $V_{dc}$ に一致するようになっている。また、電圧位相 $\psi$ は、同図において、ロータ角度 $\theta$ が $0^\circ$ であるタイミングと矩形波の立ち下がりがタイミングとの差に対応している。

【0038】以上説明した交流電動機の駆動制御装置10によれば、トルク検出手段14を設けて、実出力トルクとトルク指令値との差であるトルク偏差 $\Delta T$ が0となるよう電圧位相 $\psi$ を設定し、その電圧位相 $\psi$ を有する矩形波電圧をモータ24に印加するようにしたので、モータ定数が変動することによるトルク精度の悪化を防止することができる。

【0039】なお、以上説明した交流電動機の駆動制御装置10は種々の変形実施が可能である。例えば、以上の説明ではモータ24に対して矩形波電圧を印加するよう構成したが、その他、電圧振幅が可変のPWM正弦波電圧をモータ24に印加する場合においても同様に適用することができる。すなわち、トルク検出手段14を設けてトルクフィードバック制御をすれば、モータ定数が変動した場合であっても、トルク指令値と実出力トルクとの差を縮めることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態にかかる交流電動機の駆動制御装置の全体構成を示す図である。

【図2】 バッテリ電圧の変化により電圧位相-トルク特性が変化する様子を示す図である。

【図3】 電圧位相-トルク特性と電圧位相の制限範囲を示す図である。

【図4】 電圧ベクトルの軌跡を表す図である。

【図5】 モータに供給される電圧波形、バッテリ電

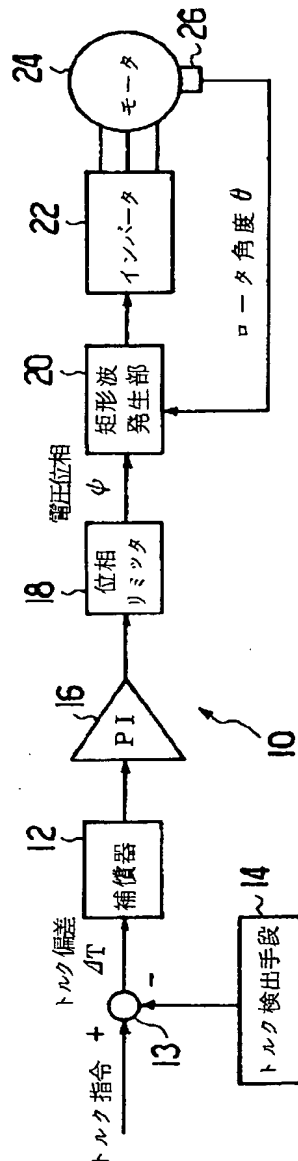
圧、電圧位相の関係を示す図である。

【図6】 従来技術にかかる交流電動機の駆動制御装置の全体構成を示す図である。

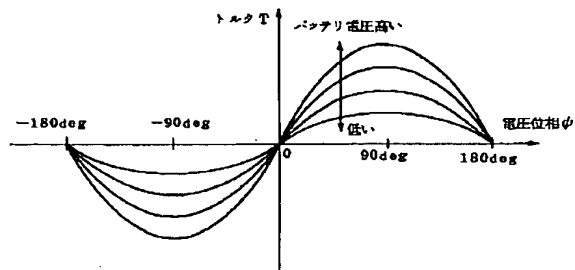
【符号の説明】

10 駆動制御装置、12 補償器、13 加算器、14 トルク検出手段、16 PI演算器、18 位相リミッタ、20 矩形波発生部、22 インバータ、24 モータ、26 レゾルバ。

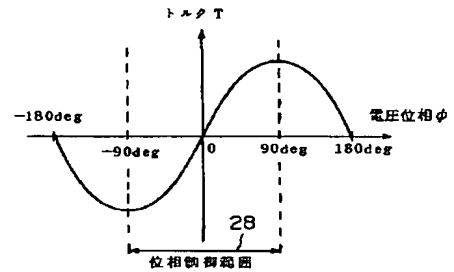
【図1】



【図2】

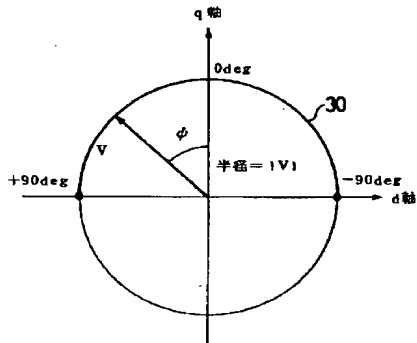


【図3】

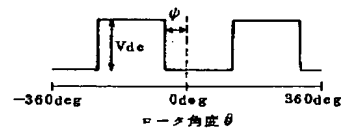


電圧位相 - トルク 特性

【図4】

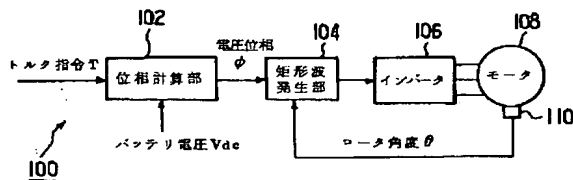


【図5】



矩形波電圧 (U 相)

【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 稲熊 幸雄  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内  
(72)発明者 大谷 裕樹  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

Fターム(参考) 5H115 BA06 BB04 BC07 CA16 CB09  
FA04 FA22 FA23 FA27 FB22  
JC11 JC12 JC13 JC16 JC30  
5H576 BB10 DD02 DD07 EE11 GG10  
HB01 JJ24 JJ25 JJ28 LL01  
LL22 LL24 LL28 LL38 LL41  
LL58